

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕОРИИ НЕПРЕРЫВНОГО СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОЦЕССА

П.С.Харлашин, профессор, д.т.н., ГВУЗ «ПГТУ»;

Б.М.Бойченко, профессор, д.т.н., НМетАУ, г.Днепропетровск;

Е.В.Протопопов, профессор, д.т.н., ГОУ ВПО СГИУ, г.Новокузнецк;

М.А.Григорьева, доц., к.т.н., В.Я.Бакст, доц., к.т.н., ГВУЗ «ПГТУ»

Возможность использования непрерывного сталеплавильного процесса давно занимает исследователей и изобретателей. Непрерывный сталеплавильный процесс должен отвечать ряду теоретических принципов, которые определяют в той или иной степени схему процесса.

Скорость непрерывного сталеплавильного процесса зависит от скорости окислительного рафинирования от примесей и определяется законами массопереноса. Чем быстрее осуществляется массоперенос, тем выше может быть производительность технологии.

Теория массопереноса и непрерывных технологических агрегатах различного типа разработана рядом ученых – Steinmets E, Van der Lean, Tring N.W. и др. Начало теории массопереноса и несмешивающихся жидкостях – металла и шлаке положено в работах Баптизманского В.И., Яковлева Ю.Н. и др. Объектом исследований является взаимозависимость между степенью рафинирования металла, достигаемой в агрегате того или иного производительностью агрегата и затратами рафинирующих материалов.

$$-\frac{\partial c}{\partial \tau} = \beta \cdot S/V \left[(1 + V/V^S L) C - V/V^S L \right] C_0 \quad (1)$$

где C_0 – содержание примеси в исходном металле, г/см³; V^S – объём шлака в агрегате, см³; L – термодинамический коэффициент распределения примесей; β – коэффициент массопереноса в металле, см/с; V – объём металла в агрегате, см³; S – поверхность раздела между металлом и шлаком, см²; C – концентрация примесей в объёме металла; τ – время, с.

Уравнение (1) может быть использовано для определения взаимосвязи между достигаемой степенью рафинирования, производительностью и расходом рафинирующих материалов в периодическом конвертерном процессе. При $\tau = \tau_{\text{кон}}$ ($\tau_{\text{кон}}$ – время окончания процесса) можно выразить формулами степень рафинирования и производительности процесса R

$$\varphi = C_k/C_0 \quad (2),$$

где φ – характеристика степени рафинирования металла от данной примеси, C_k – концентрация примеси в металле при $\tau = \tau_k$

$$R = V / \tau_k \beta \cdot S \quad (3)$$

Производительность процесса определяется двумя группами факторов: гидродинамическим ($\beta \cdot S$) и концентрационным $C - C_{II}$ (C_{II} – концентрация примеси на границе металл-шлак). Гидродинамические факторы связаны с условиями перемешивания металла и шлака, а концентрационные определяются схемой процесса. Величина R определяется лишь концентрационными факторами и, следовательно, может служить критерием для оценки эффективности различных схем процесса, в том числе и для стационарной стадии непрерывного процесса, когда концентрация примеси в каждой точке ванны устанавливается на постоянном уровне.

В качестве примера можно использовать модель следующего непрерывного сталеплавильного процесса конвертерного типа: в реторту конвертера непрерывно подают жидкий чугун и жидкий шлак, а продукты процесса непрерывно выводят из реторты; концентрация примеси во всех точках ванны остается неизменной. Для такого процесса баланс по схеме можно представить в виде:

$$C_0 v = C_k v = V (\partial C / \partial \tau) \quad (4),$$

где v – объёмная скорость движения металла, $\text{см}^3/\text{с}$; C_k – конечная концентрация примеси в металле.

$$\text{Учитывая, что для этого случая } R = v / \beta \cdot S \quad (5)$$

и выразив $\partial C / \partial \tau$ через безразмерные величины R , φ , μ , получим:

$$\varphi = (R + 1/\mu) / (R + 1/\mu + 1) \quad (6),$$

где $\mu = V^s L / V$. Величина μ характеризует рафинирующую ёмкость шлака. Анализ эффективности процессов при любой величине R показывает, что степень рафинирования металла в периодическом процессе выше, чем в непрерывном агрегате все время протекает заключительная, самая низкопроизводительная стадия периодического процесса. Для того чтобы по эффективности непрерывный процесс был не ниже периодического, необходимо различные стадии рафинирования разделить в пространстве. Это можно сделать, организовав рафинирование во время протекания металла по желобу или использовав для этой цели несколько реакторов, при условии, что металл и шлак непрерывно перетекают из одного в другой.

В модели идеального вытеснения с использованием схемы желобного типа диффузия компонентов вдоль направления движения реагирующих фаз отсутствует, а в направлении, нормальном к их движению, градиенты концентраций в каждой из фаз равны нулю. В первом приближении процессами идеального вытеснения можно

считать и такие, в которых диффузионное перемещение существует, но скорость его намного меньше скорости движения металла или шлака. Металл и шлак могут двигаться в одном направлении или в противоположных.

Выделим объём металла длиной Δx и шириной b . Для такого процесса баланс скоростей определяется уравнением:

$$C_x v = C_{x+\Delta x} \cdot v + \beta b \Delta x [(1+1/\mu)C_x - 1/\mu C_o] \quad (6)$$

Перейдём к бесконечно малым

$$-v \partial C_x / \partial x = \beta b [(1+1/\mu)C_x - 1/\mu C_o]$$

Проинтегрировав это выражение, получаем уравнение:

$$\varphi = \left[1 + \mu \exp\left(-\frac{1+\mu}{\mu R}\right) \right] / (1+\mu) \quad (7)$$

для случая параллельного движения металла и шлака.

Для процесса идеального вытеснения с противотоком металла и шлака закон изменения концентрации примеси в шлаке описывается уравнением

$$C^S = (V/V^S)(C - C_k) \quad (8)$$

а баланс скоростей имеет вид

$$\varphi = (\mu-1) \left[\mu \exp\left(\frac{\mu-1}{R\mu}\right) - 1 \right] \quad (9)$$

Общий анализ уравнений (7) и (9) показывает принципиальное различие между процессами с противотоком и параллельным движением металла и шлака. Ясно, что максимальная степень рафинирования достигается при минимальной производительности. Из уравнения (7) следует, что при $R=0$ величина φ ограничена уравнением

$$\varphi_{min} = \frac{1}{1+\mu} \quad (10)$$

и может быть равно нулю лишь при $\mu = \infty$. Для случая противотока из уравнения (9) следует, что при $R=0$; $\varphi = \varphi_{min} = 0$ при любом μ , т.е. в этом случае возможно движение любых низких концентраций удаляемой примеси.

Преимущества противоточного процесса существенны во всем диапазоне изменений анализируемых величин и увеличиваются при уменьшении R . Противоточный режим движения металла и шлака можно организовать лишь при непрерывном процессе, и это является одним из важнейших преимуществ непрерывных процессов перед периодическими.

Математические выражения, приведенные выше, позволяют численно оценить эффективность различных вариантов непрерывных процессов.

УДАЛЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ РАСПЛАВА ПРИ ЕГО ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ

П.С.Харлашин, профессор, д.т.н.,
А.Н.Яценко, ассистент, ГВУЗ «ПГТУ»

Наиболее распространенным вариантом внепечной обработки металла является его продувка инертным газом в сталеразливочном ковше.

Во время рафинирования металла от примесей большое значение имеют следующие характеристики его поверхностного слоя: толщина, степень заполнения удаляемыми из расплава частицами и характер их взаимных связей. Именно эти характеристики определяют эффективность дегазации металла через преодоление частицами сопротивления со стороны поверхностно - активных элементов (ПАЭ) расплава и занятием вакантных мест на границе раздела металл - вакуумное пространство. Это сопряжено с преодолением сопротивления со стороны поверхностно - активных элементов расплава. Между удаляемыми из расплава частицами и ПАЭ возникает сложная борьба за место на границе раздела фаз. Только те частицы, которые имеют достаточную энергию для преодоления сопротивления, оказываемого со стороны ПАЭ, могут успешно занять места на поверхности раздела фаз.

Дегазирующее действие продувки металла инертным газом имеет место при наличии разности концентраций удаляемого газа в объеме расплава и поверхности "инертный газ - металл", рассматриваемая характеристика на которой соответствует парциальному давлению удаляемого газа в инертной среде.

Продувка жидкого металла инертным газом с целью дегазации, как известно, наиболее эффективна для водорода, т.к. кислород и азот, как правило, находятся в расплаве в виде оксидных включений и стойких нитридов.

Помимо дегазации, продувка металлических расплавов инертным газом выравнивает по их объему температуру и химический состав вследствие перемешивающего действия газовой фазы, а также рафинирует расплав от неметаллических включений.